

授業実践等によるマイクロスケール実験の有用性の検討

—理科教育におけるマイクロスケール実験の普及をめざして—

芝原寛泰・坂東 舞・川本公二

(京都教育大学・京都教育大学大学院生・京都府立桃山高等学校)

Consideration of Effectiveness of Microscale Experiments to the Chemical Education through the Teaching Program

—To Promote the Spread of Microscale Experiments among the Science Education—

Hiroyasu SHIBAHARA, Mai BANDO, Koji KAWAMOTO

2006年11月30日受理

抄録：環境問題を配慮したマイクロスケール実験による教材実験の有用性について検討した。マイクロスケール実験を用いた授業実践および教員研修等での紹介をとおして、実験を体験した受講生の意見を集約し、今後のマイクロスケール実験の開発、普及に供することをねらいとした。2005年5月から2006年9月に至る総計29回の授業実践および研修会等をおして、約1070名の中学生・高校生、現職教員等を対象にしたアンケート調査をもとに検討した。マイクロスケール実験を体験した生徒、教員の多くから、実験の有用性、教育的効果について肯定的な意見が多く寄せられた。

キーワード：マイクロスケール実験，環境問題，授業実践，グリーンケミストリー，探究的活動

I. はじめに

マイクロスケール実験は、環境問題に配慮した化学として注目されているグリーンケミストリー^{1, 2)}の概念を、学校現場における理科実験に反映させることができる。グリーンケミストリーは本来、「物質を設計し、合成し応用するとき有害物質をなるべく使わない、出さない化学」、「人体と環境に対する影響を常に考えた化学」であり、すなわち「環境にやさしい化学」とも言える。最近では Sustainable Chemistry，すなわち「社会の発展が持続可能な化学」と結びつき G S C (グリーン・サステイナブルケミストリー)とも呼ばれ、これからの化学のあり方を示唆する重要な考え方となっている。この G S C の考えを、学校現場の理科教育実験に反映させる手段として、諸外国ではマイクロスケール実験(場合によっては、スモールスケール実験とも呼ばれる)の研究が盛んに行われ普及も進んでいる。

マイクロスケール実験の特徴として、(1)従来の実験器具よりスケールを小さくする(2)試薬と経費の節減(省資源、省エネルギー)(3)実験廃棄物の少量化(4)試薬が少量で危険が少なく事故防止に役立つ(5)実験時間の短縮(6)1~2人の個人実験が可能で、達成感が得られる(7)理科実験室でなく、通常の教室でも実施が可能(8)小中学校では専門外の教員でも指導・実施が容易などがあげられる。このような特徴をもつマイクロスケール実験を日本の学校現場での理科教育に普及させるため、教材開発および、中学校、高等学校、大学において授業実践を行うだけでなく、さらに理科教員・実習助手の研修等の場でも紹介を行ってきた。マイクロスケール実験を体験した多くの受講生の意見、感想をまとめることにより、今後のマイクロスケール実験普及を目指す上での問題点を整理した。

II. マイクロスケール実験の教材開発

実験教材は主に、中学校理科、高校化学に分けられる。以下に開発した教材の例を示す。

1. 中学校理科の例

中学校理科で扱われる「水の電気分解」, 「爆鳴気」, 「燃料電池の原理」^{3,4)}, 「水溶液の性質」, 「中和反応」⁵⁾, 「塩化銅水溶液の電気分解」, 「気体の発生と性質」について実験教材を改良及び開発した。爆鳴気の実験を除いては、いずれも中学校理科の定番実験である。

図1はマイクロスケール実験で頻りに用いるセルプレートとポリスポイドである。また図2はポリスポイドを用いた水の電気分解実験の様子を示し、発生した気体の体積比が酸素:水素=1:2であることがわかる。

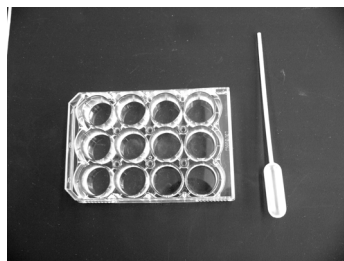


図1 12セルプレートとポリスポイド

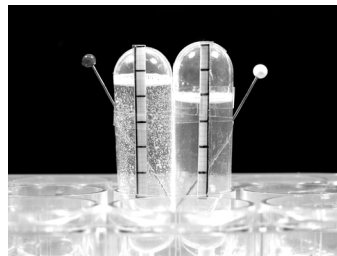


図2 水の電気分解実験³⁾

2. 高校化学の例

高校化学で扱われる「ムラサキキャベツの色素とpH」, 「ダニエル電池と鉛蓄電池」¹⁰⁾, 「金属陽イオンの定性分析」, 「未知試料の分離・確認」の各実験について教材開発を行った⁶⁾。図3に12セルプレート上での「ダニエル電池と鉛蓄電池」実験の配置図を、図4に96セルプレート上での「金属陽イオンの定性分析」実験の結果を示す。

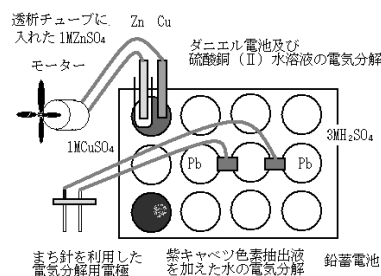


図3 ダニエル電池および鉛蓄電池実験の配置

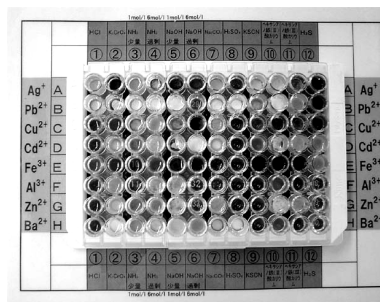


図4 金属陽イオンの実験結果⁶⁾

Ⅲ. マイクロスケール実験の授業実践

H17年度, 18年度(9月まで)に行ったマイクロスケール実験の授業実践例を中学校理科, 高校化学, 研修講座(現職教員及び実習助手を対象)に分けて示す。

1. 中学校理科で行ったマイクロスケール実験の授業実践は3学校, 6クラス, 生徒数181名が対象となった。

- 1) 日時: 2005年6月22日 場所: 附属京都中学校 中2, 3選択授業(理科サイエンス) 受講生: 35名
授業内容: 水の電気分解と爆鳴気
- 2) 日時: 2005年7月15日 場所: 附属桃山中学校 中3授業 受講生: 26名 授業内容: 水の電気分解と爆鳴気
- 3) 日時: 2006年5月31日 場所: 附属京都中学校 中2, 3選択授業(理科サイエンス) 受講生: 38名
授業内容: 水溶液の性質
- 4) 日時: 2006年9月25日 場所: 福知山市立桃映中学校 中2の3クラス 受講生: 82名 授業内容: 水の電気分解と爆鳴気

図5および図6は、2006年6月に京都教育大学附属京都中学校および、同年9月に福知山市立桃映中学校で行った授業実践の様子を示す。



図5 中学校における水溶液の実験

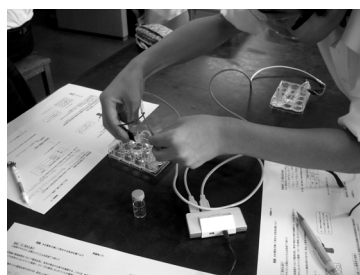


図6 中学校における水の電気分解実験

2. 高校化学で行ったマイクロスケール実験の授業実践の詳細を以下に記す。

- 1) 日時：2005年5月19日および10月4日, 7日 場所：京都府立桃山高等学校 高3選択授業 受講生：4講座491名 授業内容：ダニエル電池と鉛蓄電池およびムラサキキャベツの色素とpH
- 2) 日時：2005年6月24日, 7月13日および10月19日, 26日 場所：京都府立園部高等学校 高3授業 受講生：4講座64名 授業内容：ダニエル電池と鉛蓄電池, ムラサキキャベツの色素とpH, 金属陽イオンの定性分析および未知試料の分離・確認
- 3) 日時：2005年7月12日, 14日, 10月13日, 19日および11月17日 場所：京都府立洛北高等学校 高1授業 受講生：5講座238名, 授業内容：ダニエル電池と鉛蓄電池, ムラサキキャベツの色素とpHおよび金属陽イオンの定性分析
- 4) 日時：2005年6月27日, 7月19日, 20日, 9月26日, 11月29日, 30日および2005年2月9日 場所：京都教育大学附属高等学校 高1, 高2授業 受講生：7講座300名 授業内容：ムラサキキャベツの色素とpH
- 5) 日時：2005年9月8日 場所：京都府立嵯峨野高等学校 高1授業 受講生：1講座18名 授業内容：ダニエル電池と鉛蓄電池, ムラサキキャベツの色素とpHおよび金属陽イオンの定性分析
その他 総計5学校, 14講座, 受講生約800名を対象として行った。

3. 現職教員および実習助手を対象にした研修講座（講義・実験）等においては、総計9講座、89名の受講生であった。

- 1) 日時：2005年8月10日, 11日 場所：京都教育大学 対象：京都府立高校教員の10年目研修 受講生：3名, 内容：高校化学のマイクロスケール実験の紹介他（ダニエル電池と鉛蓄電池, ムラサキキャベツの色素とpH, 金属陽イオンの定性分析, 未知試料の分離・確認, 化学反応速度, 水の電気分解, 爆鳴気）
- 2) 日時：2006年5月23日 場所：附属高等学校 対象：京都府・市内の高校化学・物理教員 受講生：13名 内容：高校化学のマイクロスケール実験の紹介他（水の電気分解, 爆鳴気, 電池その他）
- 3) 日時：2006年6月22日 場所：京都府教育委員会総合教育センター北部研修所 対象：10年目研修の京都府中学校理科教員 受講生：8名 内容：中学校理科のマイクロスケール実験の紹介（水の電気分解, 爆鳴気, 燃料電池, 水溶液の性質, 中和反応）
- 4) 日時：2006年7月7日 場所：福知山高等学校 対象：高校実習助手（福知山地区） 受講生12名 内容：高校化学のマイクロスケール実験の紹介（ムラサキキャベツの色素とpH, ダニエル電池, 鉛蓄電池）
- 5) 日時：2006年7月7日 場所：桃山高等学校 対象：高校実習助手（桃山地区） 受講生21名 内容：高校化学のマイクロスケール実験の紹介（ムラサキキャベツの色素とpH, ダニエル電池）
- 6) 日時：2006年7月11日 場所：京都教育大学 対象：高校実習助手（南山城地区） 受講生12名 内容：高校化学のマイクロスケール実験の紹介（ムラサキキャベツの色素とpH, ダニエル電池, 鉛蓄電池）
- 7) 日時：2006年8月5, 6日 場所：奈良教育大学 日本理科教育学会でのワークショップ 対象：現職理科教員, 大学教員等（人数不明） 内容：中・高校化学のマイクロスケール実験の紹介
- 8) 日時：2006年8月19日 場所：京都府教育委員会総合教育センター北部研修所 対象：大学院GP講座受講の小・中学校教員 受講生3名 内容：環境問題を配慮した化学分野実験

- 9) 日時：2006年8月23日 場所：福知山市三和町公民館 対象：小学校・中学校教員 受講生17名 内容：環境を意識した理科授業-マイクロスケール実験の紹介-(水の電気分解，爆鳴気，燃料電池，水溶液の性質)

IV. アンケート調査について

実験終了後に次のような内容でアンケート調査を実施した。以下の例は，現職教員を対象にしたアンケート調査内容であるが，調査対象が生徒，教員等により適宜，問い方については若干変更した。今回は統計的な調査よりも，実験体験者による生の意見を多く集める事に主眼をおき，今後の教材開発に資することをねらいとした。

〈アンケート調査項目〉

- (1) 今回，紹介したマイクロスケール実験について

実験器具は使いやすいですか？実験結果はわかりやすいですか？

- (2) 少人数（1人もしくは2人一組）によるマイクロスケール実験について

生徒にとって，実験に集中して取り組める，さらに達成感が得られるなどの効果はあると思われませんか。その他のご意見もお書きください。

- (3) 安全めがねをかけることについて

実験時に必ず生徒に着用させるには，どのようにすればいいと思われませんか。

(4) マイクロスケール実験では，実験に必要な溶液等を少なくし，実験後の廃液も少なくすることで，環境面や経済性に配慮することをねらいとしています。この目的を考えた場合，マイクロスケール実験についてあなたはどのように思いましたか。

- (5) マイクロスケール実験その他について，感想を自由に書いてください。

以下に，アンケートに記載された受講生の意見，感想等をまとめた。尚（ ）内は筆者の補足による。

1. 現職教員・実習助手を対象にしたアンケート調査結果（自由記述）

1. 今回紹介したマイクロスケール実験について
実験器具は使いやすいですか？
セルプレート，点眼ビン，ポリスポイドは使いやすいが，パスツールピペットを使って電気分解用ポリスポイドに水酸化ナトリウム水溶液を入れると表面張力で液が溢れてしまう。中学生にとってこの操作は難しい。
不器用な生徒には実験操作が難しいかもしれない。
酸性・アルカリ性の水溶液と指示薬の色の変化については（実験操作，実験結果が）すっきりしており，安全面にも配慮されていて使いやすい。
小さいので慣れない間は液をこぼしたりすると思うが，回数を重ね（実験操作に）慣れると，大変使いやすい。
実験器具が小さいので集中力が必要である。
慣れが必要だが，一度練習をすればよい。
初めは（実験操作に）緊張するが，従来の実験器具を使うより（操作が）楽であった。また，楽しい実験だったので生徒も頑張れると思う。

準備や後片付けがしやすい。
実験器具が小さいので使いにくい部分もある。また、細かな作業が必要となると感じた。慣れるまで時間がかかる。
実験結果はわかりやすいですか？
実験結果をデジタルカメラで撮影するとわかりやすい。
目の前で実験（反応）が見られるのでわかりやすい。実験の楽しさを感じることができる。
一人で実験ができるので、実験をしながら即時に結果が観察できる利点がある。
（酸・アルカリの実験は）試験管で行うよりも実験結果が比較しやすかった。また、色の変化が鮮やかでわかりやすかった。
気体の発生（水の電気分解）はダイナミックさもほしい。

2. 少人数（1人もしくは2人一組）によるマイクロスケール実験について
生徒にとって、実験に集中して取り組める、さらに達成感が得られるなどの効果はあると思いますか？ その他のご意見もお書き下さい
集中すると思う。実際、自分自身も体感した。
自分の分の実験器具があるということは大変意欲が湧き、意義がある。
効果はあると思うが、（実験グループが多くなるので）実験中にどこかの班で不具合が生じた場合、1人の教員では対処が困難になると感じた。
この点に一番「ハッ」とさせられた。いくらグループに分けてもやはり“お客さん”になってしまう生徒はいる。必ず自分がする、ということの教育効果はすばらしいと感じた。
実験に参加している意識が高まる。達成感、満足感が得られる。実験に興味が増く。
実験器具等の予算がない中、人数分の実験器具が準備でき、全員が参加した実験が可能だと思った。
人に頼ることなく自分で実験をすると、達成感だけでなく理解度が増すと思う。
5～6人の実験ならじっくりと見られないところもあるが、マイクロスケール実験ならしっかり観察できる。中学校では、2人一組で実験をさせるのがよいと思う。
実験に失敗しても自分の責任なので、自分で解決しようとする。
やはり、少人数でできることが一番である。他の人と違った結果になっても意義がある。

3. 安全めがねをかけることについて
実験時に必ず生徒に着用させるにはどのようにすればいいと思いますか？
安全めがねの着用は大切なことだと思うが、暑さ（季節）などを考えた場合、困難だと思う。ゴーグルタイプではなく、めがねタイプの方が良い。
全ての実験で着用することと、（授業中に）安全めがねを外してもよい場面を作ることが必要。
中学校入学後、最初の理科の授業で（指導を）徹底し着用の習慣をつけることが必要。また、危険性を知らせるために、ポスター等を理科室に掲示することも良いと思う。
他人が使用しためがねを使うことに対する指導が難しい。男女別で揃える、個人持ち（個人購入）にする

などの対策が必要.
各自が持参する形式（個人購入）では着用は無理だと思うので、実験室に安全めがねを人数分準備し、保管する場所も設ける。そのためにもコンパクトな安全めがねがあればよい。
何のために必要なのか、また、着用していないことで起こり得る危険について十分に理解させると生徒も納得すると思う。特に目という部分が他の部分と違って重大な事故につながることを理解させる。
小学校から安全めがねを使用する（習慣付ける）、教師が演示実験の時も使用するなど、白衣同様に実験時には着用するものという意識づけをする。

4. マイクロスケール実験では、実験に必要な溶液等を少なくし、実験後の廃液も少なくすることで、環境面や経済性に配慮することをねらいとしています。この目的を考えた場合、マイクロスケール実験についてあなたはどのように思いましたか。
他国では広く取り入れられているこの考えを、日本でも広めることが大切だと思う。
廃液の少なさなど、環境面での効果が非常に大きいと思う。
理にかなっていると思う。実験終了時、廃液が少量なのでとても良いと感じた。
分析の実験については効果が大きく、経済的にもよい。
廃液の少量化にはよい。生徒にも廃液（実験廃棄物）の問題を意識させることができる。鉛蓄電池の実験などは、ピーカーで行くとピーカーを倒してしまう危険があるが、マイクロスケール実験の場合はその心配がなく結果もよくわかった。
授業の際は、生徒に環境面や経済性を強調するのではなく、一人ひとりが実験でき、さらに環境にも配慮しているという扱いでよいと思う。
（実験助手の立場から）試薬の調製にかかる時間も節約でき、廃液量も削減できるので大変よいと思う。
実験の後片付けも簡単なので、生徒が嫌がらずに思う。
塩素の発生（塩化銅の電気分解）なども少量であるので安心できる
小さな実験器具での実験だったが、爆鳴気は大きな音が鳴るので子ども達も興味を持って行うと思う。

5. マイクロスケール実験、その他について感想を自由に書いて下さい。
今まで、実験器具を大きくするという概念はあったが、小さくするという概念は全くなかった。ぜひ授業でも取り入れたい。
少人数での実験はとても大切で有効だと思うが、準備が大変である。また、生徒に個人差（理解度、技能）がある場合、実験そのものを正しく行えない可能性がある。少人数授業で複数の教員の配置（Team Teaching）があれば普及すると思う。
環境面に配慮している、生徒一人一人に課題を課すという点では素晴らしい。しかし、生徒が（実験結果に対して）劇的な変化を期待しているところもあり、実験結果に対する感動を大きくすることができれば、さらに良くなると思う。理科好きの生徒には効果は大きいと思う。
できるものはマイクロスケール実験を取り入れていきたいと思うが、実験器具の操作（ガスバーナー、試験管など）の習得などいろいろとクリアしなければならない点がある。

クラスの人気分の実験セットを揃え、きめ細かな準備をするのはとても大変である。しかし、「生徒一人ひとりが実験をする」という視点を私自身が持つことができ、マイクロスケール実験を体験できた今日の機会に大変感謝している。

各実験での操作性、加熱を伴う実験については工夫が必要であり、課題がある。

教科書の方法との整合性が気になりである。

コンパクトにできるということは色々な面で良いことだと思う。何よりも自分が実験に参加できるということが最も大切なことだと思う。

小学校でも役に立つ内容なので活用したい。

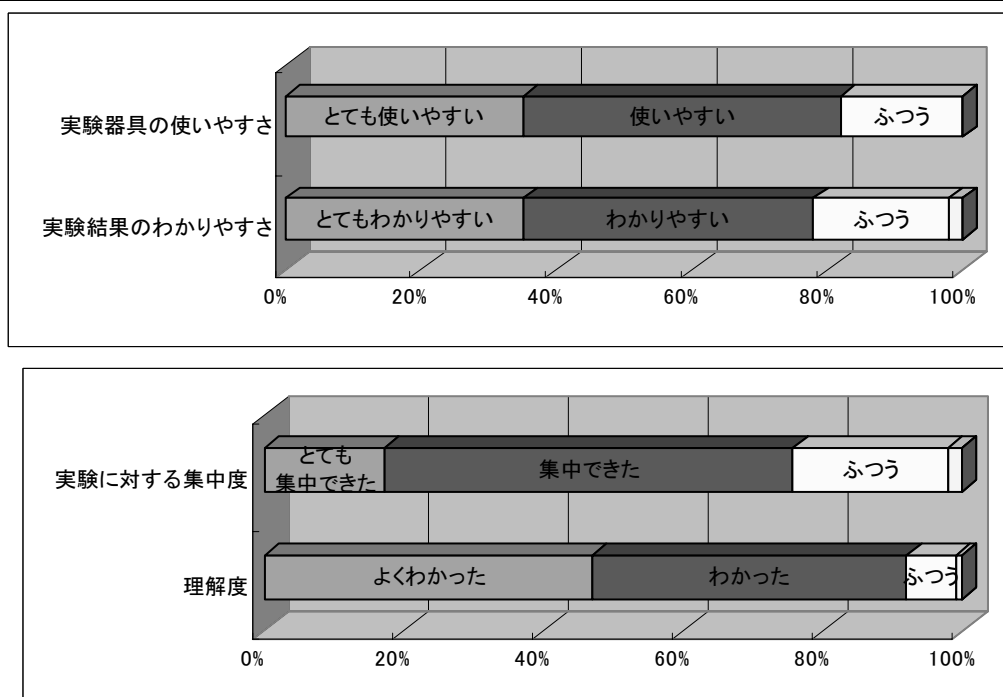


図7 中学生を対象にしたアンケート結果

2. 中・高校生を対象にしたアンケート調査結果と考察

中・高校生を対象にしたアンケート調査では実施した講座数、受講生数も多く、以下のような集計を試みた。中学生を対象にした結果を図7に示す。対象は、附属京都中学校、附属桃山中学校の生徒63名である。約80%の生徒が小さな実験器具でも使いやすく結果がわかりやすいと答えた。安全メガネについては、かけたくないという意見が多くみられた。今回のマイクロスケール実験については、実験に対する集中度、理解度に対しても約2/3の生徒がよいと答えた。また自由記述では「たくさん的人数ですと見るだけの人ができるが、2人一組だと集中できた。」「少数だからみんなが参加できていいと思った。」「環境面や経済面に配慮すると、やっぱりこの実験でよかったと思う。」等の意見がみられた。

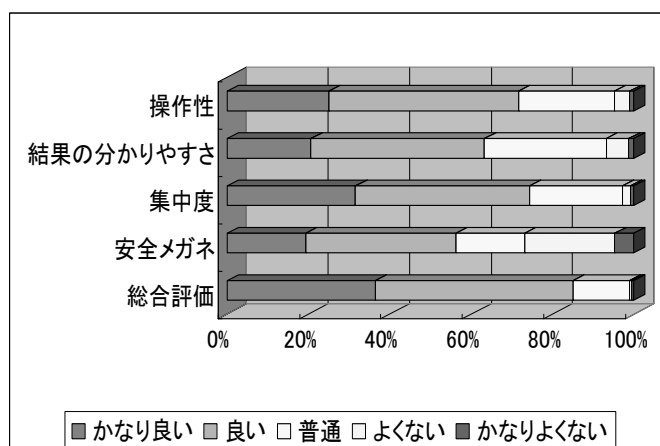


図8 高校生を対象にしたアンケート調査

高校生を対象にしたアンケート結果を図8に示す。対象は高等学校5校、26講座、764名である。安全めがねの着用を除いては、どの項目に対しても約2/3の高校生がマイクロスケール実験の意義を認めている。自由記述では、「せまい机でも実験しやすいと思った。」「一度に色々な沈殿を見られてよかった。」「近くで見られるので、印象に残った。」「小さくて少しやりにくかったが、色の変化がおもしろかった。」「後かたづけが楽だった。」「一人で出来たからすごく集中できた。」「手をぬけない。」「科学者になった気分でした。」「廃液が少なくなくていいと思った。」等の意見が寄せられた。

3. 主に教員・実習助手を対象としたアンケート調査結果の考察

1) 教員の現状

理科教育実態調査中間報告⁷⁾によると、理科の授業において実験・観察が減った理由に、「教員の仕事が忙しくなった」、「準備や後片付けができない」「実験・観察の用具が十分でない」をあげた教員が多い。中でも、「教員の仕事が忙しくなった」は回答率が100%に達し、特に目立っている。学習指導に関する実態調査⁸⁾においても、「指導の準備にかけられる時間が足りない」84.4%、「実験を行う時間が十分にとれない」60.3%、ゆとり教育を前面に出した「今の学習指導要領では指導内容が不足している」と感じる教員も8割以上にのぼっている。また、半数弱の教員が子ども達の理科離れを実感している。これらの結果から、教員が充実した指導ができないことに悩みを抱えていることが推測される。このような現状を踏まえて、小・中・高等学校の理科教育の充実を目指し、各地の教員研修においてマイクロスケール実験を積極的に提案した。

2) 教員が考えるマイクロスケール実験のメリットについて

マイクロスケール実験は、使用する試薬の削減、廃液量の減少の観点から、環境面や経済性が特に強調される。これらはマイクロスケール実験の大きなメリットであり、これまでの実験にはなかった特徴である。これに関しては、「実験器具を大きくするという概念はあったが、小さくするという概念はこれまでになかった」という中学校理科教員の意見があるように、理科を専門とする教員でさえも、化学実験に対してこのような意識を持つことがなかったことを示している。

マイクロスケール実験のメリットは経済性・環境面のみではない。「実験のスケールが小さいことよりも、少人数で実験をすること、実験で得た達成感が心に残った」「やはり、少人数でできることが一番である。他の人と違った結果になっても意義がある」「環境面や経済性というよりも個々の生徒に実験をさせるという点で優れていると思う。」という意見が多くあげられたように、個人実験・もしくは少人数(2人一組)実験ができる点にマイクロスケール実験のメリットを見出し、指摘した教員が多い。マイクロスケール実験において、個人実験という教育効果の重要性を指摘した教員の意見の多さは予想を上回った。「いくらグループに分けてもやはり“お客さん”になってしまう生徒はいる。必ず自分がする、ということの教育効果はすばらしいと感じた」というように、4~6人のグループ実験では積極的な生徒が実験を先導し、消極的な生徒は“お客さん”になってしまう現状がある。それらを突破する試みとして、マイクロスケール実験の教育効果が大きく評価されたことがわかる。

マイクロスケール実験の導入により、4~6人で実施していたグループ実験が個人実験に代替できる。この場合、個人実験を導入しても使用する試薬の量が従来の実験方法より大幅に削減できる、実験器具には汎用性があり、ガラス製の実験器具に比べ安価であるということからも可能となる。個人実験では、生徒自身が実験に積極的に参加する、結果が目前でじっくりと観察できる、達成感が得られる、理解度が上がる、実験操作に慣れる、という点で大きな教育効果をもたらす。この点については、実際にマイクロスケール実験を授業に導入した教員も実感している。

3) 個別、少人数実験としてマイクロスケール実験を導入する際の問題点について

前述のような教育効果の期待と同時に、「個別実験もしくは実験グループの数が多くなると一人の教員では指導が難しくなる」、「グループの数だけ実験器具が揃えられない」、「準備が大変」といった意見もあげられた。

マイクロスケール実験というこれまでにはなかった実験器具・実験方法を導入する際、実験準備に時間がかかることは避けられない。例えば、中学校理科における「水溶液の性質のマイクロスケール実験」では、準備する水溶液の種類は6種類、指示薬は3種類である。これらの試薬はすべて点眼びんに入れ準備する。試薬を調製し、点眼びんに入れる準備には多少の時間を要する。点眼びんの容量は10 cm³であり、水溶液ならば、3回分の生徒実験が可能な量である。容量が30 cm³の投薬ビンを用いれば9回分の実験が可能となる。指示薬は1滴ずつの滴下なので数十回分の生徒実験が可能である。従来ならば試験管を用いて水溶液と指示薬の反応を観察していたが、セルプレートを用いるこの方法では、生徒に24セルプレート1枚を与えるだけで24種類の反応が観察できる。試験管を用いて同様の実験を行うと、試験管の準備、洗浄に大幅な時間と手間がかかる。一方、セルプレートの場合は実験後の洗浄も簡単であり、児童・生徒が後片付けを行う際にも、ガラス器具のように破損、けがの心配が無い。試薬の調製は従来の実験、マイクロスケール実験いずれにおいても必要な準備であるが、調整する量についてはマイクロスケール実験の方がはるかに少なく、従って廃液量も大幅に削減できる。また、セルプレートには試験管やビーカーのような汎用性があり、さまざまな実験にも応用できる。マイクロスケール実験で使う実験器具は、従来よりも簡略化されており、それに伴って実験方法、実験手順もより単純化されている。これは、理科を専門としない小学校の教員、化学分野を苦手とする中学校の教員にとっても安全に且つ容易に実験が行えるだけでなく、児童・生徒にとっても安全で使いやすい実験方法・実験器具となる。

4) 教科書、入試問題との整合性について

マイクロスケール実験には不向きな実験もあり、マイクロスケール実験では習得できない実験技術もある。また、「実験器具の操作（ガスバーナー、試験管等の使い方）の習得などいろいろとクリアしなければならない点がある」といった意見があるように、入試問題への対応、教科書との整合性はしばしば問題となる。実験の目的の一つには基本的な実験操作の習得がある。特に小・中学校では、ピペットの操作、試薬のにおいの嗅ぎ方、アルコールランプ、ガスバーナーの使い方、ガラス棒の使い方（ビーカーに入った溶液を攪拌する、水溶液をリトマス紙に付ける等）、といった基本的な実験操作を身に付けることが必要とされており、マイクロスケール実験では、これらの習得が不可能になるのではないかという懸念がある。

実験操作の習得については、児童・生徒の学習歴や実態に応じて教員が通常実験で使用する実験器具（試験管、ピペット、アルコールランプ、ガラス棒など）と、マイクロスケール実験で使用する実験器具（セルプレート・ポリスポイド、点眼びん、注射筒など）を選択すべきである。例えば、試験管をセルプレートで代用し、ピペットを使って試薬を滴下すれば、ピペットの操作の習得は可能であり、試薬の量も削減できる。

5) 安全めがねの着用について

安全めがね（保護めがね）の着用については、日本の教育現場では習慣付けられていないのが現状である。諸外国の場合と比べて、実験時の事故防止に対する姿勢がまだまだ徹底していない事を如実に表している。人数分の安全めがねを準備する費用、目に関わる病気の感染、実験室での管理等の問題が依然としてあり、着用の習慣がないと思われる。今回のマイクロスケール実験の授業実践では、器具が小さいため対象に接近して観察する場合が多々あり安全めがねの着用は必須の条件となったが、一般の実験においても常に爆発、薬品の飛散等の危険性があり同様の対応が必要である。理科教育における実験・観察の必要性が叫ばれる中、安全めがね着用の習慣

は義務付けられるべき極めて基本的なことである。マイクロスケール実験では、器具のサイズを小さくする事により実験時の事故を最小限に抑える効果がある。安全めがねの着用が今後、教育現場で普及することが望まれる。

V. まとめ

1980年代にまずアメリカの大学において、研究室の環境整備が叫ばれ、それをきっかけにしてマイクロスケール実験が有機化学分野の実験に導入され、多くの実験方法が開発された。その後、理科教育にもマイクロスケール実験が導入されたが、National Microscale Chemistry Center (NMCC)⁹⁾における教員を対象にした講習会が毎年のように開催され、全米だけでなく諸外国にも普及することとなった。日本では、荻野和子氏（東北大学医療技術短期大学名誉教授）による先駆的な研究にはじまり、主に高校化学を対象にした教材開発と授業実践が行われた¹⁰⁾。すでに仙台地区の高校生と教員を主に対象にしたアンケート調査も実施されている¹¹⁾。

現在、マイクロスケール化学実験研究会等のいくつかの研究会¹²⁾が組織され、また各地の教育委員会の研修センター等¹³⁾でもマイクロスケール実験の教材開発、研修が行われ徐々に普及しつつある。高校化学だけでなく小中学校での理科実験においてもマイクロスケール実験の普及が早急に望まれる。環境問題だけでなく生徒・児童の課題解決能力を育成すること、すなわち探究的活動の一環としてもマイクロスケール実験は有効である。

尚、本研究は科研費（特定領域研究課題番号 17011005、代表者 荻野和子、萌芽研究課題番号 18650232、代表者 芝原寛泰）および日産科学振興財団 平成 17・18 年度理科・環境教育助成により実施された。

参考文献

- 1) 荻野和子, 1998, スモールスケール化学実験のすすめ-学園におけるグリーンケミストリー-, 化学と教育, 46, 516-517
- 2) Paul T. Anastas, John C. Warner, 科学技術戦略推進機構訳編, 渡辺正, 北島昌夫訳, 1999, グリーンケミストリー, pp124, 日本化学会
- 3) 坂東舞, 川本公二, 土田弘幸, 芝原寛泰, 2005, マイクロスケール実験による水の電気分解実験の定量化, 京都教育大学教育実践研究紀要, 第6号, 25-34
- 4) 芝原寛泰, 2006, 中学理科通信 秋号 中学理科におけるマイクロスケール実験の活用, 教育出版, 8-16
- 5) 坂東舞, 芝原寛泰, 2006, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, p153, 同内容で「理科の教育」印刷中
- 6) 川本公二, 坂東舞, 芝原寛泰, 2006, 高等学校化学における金属陽イオン分析と未知試料分析のマイクロスケール実験教材, 化学と教育, 548-551
- 7) 理科教育実態調査中間報告, 2006, 日本理科教育学会教育課程委員会
- 8) 中学校の学習指導に関する実態調査報告書, 2005, Benesse 教育研究開発センター, 13-20
- 9) <http://www.microscale.org/>
- 10) 日本化学会編, 2003, マイクロスケール化学実験, 日本化学会 に詳しい
- 11) 荻野和子, 東海林恵子, 金 和宏, 田嶋智子, 藤川卓志, 高橋匡之, 2001, 高校化学スモールスケール実験のアンケート調査, 化学と教育, 49, 169-171
- 12) <http://science.icu.ac.jp/MCE/> あるいは <http://natsci.kyokyo-u.ac.jp/~shiba/html-KMSchem/index.html>
- 13) 茨城県教育研修センター http://www.center.ibk.ed.jp/zyouhou/sozai_db/jun_rika/5/micro.htm
北海道立理科教育センター <http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/410kiyou/vol16/33ninside.htm>